

博士論文の要旨及び審査結果の要旨

氏名 高橋 素彦
 学位 博士 (工学)
 学位記番号 新大院博 (工) 第 491 号
 学位授与の日付 平成 31 年 3 月 25 日
 学位授与の要件 学位規則第 4 条第 1 項該当
 博士論文名 モーションセンサを用いた義足走行の解析手法に関する研究

論文審査委員 主査 教授・三村 宣治
 副査 教授・林 豊彦
 副査 教授・堀 潤一
 副査 准教授・渡辺 哲也

博士論文の要旨

本論文は、障がい者スポーツのひとつである走行競技の計測・解析手法に関する研究である。パラリンピックに代表される障害者陸上競技で使用される義足足部は、板ばね構造に走行時の運動エネルギーを蓄積し、開放することを繰り返すことにより走行を行うもので、健常者の走行とは大きく異なる。一般に、走行動作（健常者も含む）の計測は、広い計測区間を必要とするため、従来、走行条件を制限した計測・解析がほとんどで、特に健常者では、計測機自体固定しにくいという問題点があった。そこで本研究では、走行用義足のばね構造に着目し、複数個の多軸モーションセンサデータを融合することにより各部の運動データや床反力を推定する手法と応用例について論じている。

学位申請論文は、以下の 5 章からなり、概要は以下のとおりである。

第 1 章は、本研究の意義と背景、慣性センサを用いた従来の床反力推定法について示している。従来の床反力推定法では、走行時の腕の振りや遊脚運動による慣性力変化を考慮していないため、これらの運動が大きい走行動作、特に全力走行動作では推定誤差が大きくなるという問題点について考察している。

第 2 章は、モーションセンサを応用して、走行用義足足部のばね撓みを利用した新たな床反力推定法について示している。形状や剛性の異なる 3 種類の走行用義足足部を用いて、三次元動作解析装置の出力値を基準値とした精度評価の結果を示す。さらに、床反力鉛直方向成分の特徴ある 4 つの形態を定義し、その特徴について考察している。

第 3 章は、前章で構築したシステムを用いて、下腿義足走者と大腿義足走者に対してフィールドテストを実施し、本計測手法の有用性について検証している。加えて、体幹と下肢の運動量や速度変化、スティックピクチャーの結果を基に被験者間を比較し、走動作の特徴について考察している。義足走行では、足部のばね構造に運動エネルギーを蓄積し、蹴り出し時にそのエネルギーを利用するため、走行パターンが健常者のそれとは大きく異なること、また、遊脚の振り運動もエネルギーの蓄積・開放に利用していると考えられ、遊脚運動の運動パターン・タイミングも重要であることを明らかにしている。

第 4 章では、走動作は、上肢や遊脚下肢の動作による慣性力や並進運動といった複合した運動のため、解析は複雑となる。また、走行用義足足部はばね特性を有しているため、

ばねと質量の関係からばねの固有振動に合わせた踏み込みと蹴り出しのタイミングが重要である。そこで、Pogo stick（ばね）というホッピング装置を用いて単純な鉛直方向成分のみに着目して検証している。走行用義足足部の効率について、ホッピング動作の実験結果を基に、線形振動系の応答シミュレーションを行い、接地時の踏み込みと離床時の蹴り出しのタイミングについて検討し、最適な踏み込み・蹴り出しタイミングを明らかにしている。さらに、Pogo stickを用いない筋力のみによる跳躍動作と筋電計測結果を比較し、Pogo stick（ばね）によるホッピング動作では蹴り出し時において筋力をほとんど利用していないことを確認している。すなわち、Pogo stick（ばね）によるホッピングの蹴り出し時には、ばねに蓄積したエネルギーのみ利用しているというきわめて効率的な運動となっていることを示している。このことは、ばね特性を利用した走行用義足による走動作にもあてはまると考えられる。

第5章では、本研究で全体の総括を行い、本研究の結論をまとめている。

審査結果の要旨

本研究では、パラリンピックなど障がい者スポーツで用いられる競技用義足による走行動作などを実競技環境下で計測・解析する手法を新規に開発し、各種競技動作の特徴を客観的に数値化し、競技の指導・改善および競技器具の改良に応用することを目的としている。

競技用義足による各種運動では、運動中の各部動作と床反力が重要な計測項目となるが、本研究では複数個の多軸モーションセンサの計測結果を融合し各部の運動パラメータと義足のばね特性を利用し、床反力を推定する手法を開発した。この新たに開発した計測・解析手法を実験室内で、従来の三次元動作解析装置と床反力計による計測結果と比較し、その有効性を確認している。さらに、従来手法が適用困難な屋外フィールド環境において全力走行実験を行い、この走行動作の特徴と今後の指導の指針となると考えられる実用上有用な知見を得ている。本研究成果は、権威ある学術雑誌に掲載されていることから、研究水準も十分であり、独創的かつ重要な成果を報告しており、今後の障がい者スポーツの発展や競技器具の開発・改良などに貢献できる計測・解析手法を開発したものとして、工学的に大変価値が高いと認められる。

よって、本論文は博士（工学）の博士論文として十分であると認定した。